

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
PEDAGÓGIAI ÉS PSZICHOLÓGIAI KAR
PSZICHOLÓGIAI DOKTORI ISKOLA
KOGNITÍV PSZICHOLÓGIAI PROGRAM

Kóbor Andrea

A végrehajtó funkciók atipikus működésének elektrofiziológiai vizsgálata

A doktori értekezés tézisei

Témavezető: Prof. Csépe Valéria, DSc, MTA lev. tag

2014

1. Bevezető

Disszertációmban a *végrehajtó funkciók* (VF) atipikus működésének idegrendszeri hátterét vizsgáltam *eseményhez kötött agyi potenciálok* (EKP) módszerével. A VF atipikus működése számos formában jelenhet meg, ezek közül a normál populációt is jellemző *vonásimpulzivitásra*, valamint a klinikai szindrómák közül a gyermekkori *figyelemhiányos/hiperaktivitás zavarra* (attention-deficit/hyperactivity disorder = ADHD) koncentrállok. Az atipikus VF neurokognitív hátterének megértése elengedhetetlen, különösen akkor, ha figyelembe vesszük, hogy az impulzivitás a második leggyakoribb tünet a DSM rendszerében (DSM-IV-TR; American Psychiatric Association, 2000; Boy et al., 2011), és az ADHD egyik vezető viselkedéses megnyilvánulása is. Hasonlóképpen, az ADHD az egyik leggyakoribb fejlődépszichiátriai szindróma, amelynek prevalenciája iskolás korban eléri az 5-10%-ot (Ramtekkar, Reiersen, Todorov, & Todd, 2010). A VF atipikus működése magában foglalja a VF teljesítmény kimagasló tartományát is, ennél fogva olyan felnőtteket is vizsgáltunk, akik magas szintű VF teljesítménnyel jellemezhetők. Az EKP módszere kiegészítheti a VF viselkedéses és neuropszichológiai mérését, valamint a kapcsolódó zavarokat jellemző önbeszámolás módszereket, hiszen ennek segítségével betekintést nyerhetünk a végrehajtó folyamatok nehezen vizsgálható idői dinamikájába.

2. Szakirodalmi áttekintés

A végrehajtó funkciók konstruktuma egyfajta gyűjtőfogalomnak tekinthető. Azokat a humánspecifikus, a működés szempontjából területáltalános kontrollfunkciókat foglalja magába, amelyek a célirányos komplex viselkedést alakítják, és amelyeket leginkább a prefrontális kérgi területekhez kötünk (pl. Barkley & Fischer, 2011; Elliott, 2003; Miyake & Friedman, 2012). Tágabb értelemben a VF kapcsolódik a *kognitív kontroll* fogalmához, amely lehetővé teszi, hogy az információfeldolgozó és viselkedéses válaszokat generáló rendszerek folyamatosan és flexibilisen alkalmazkodjanak a releváns feladatkövetelményekhez a belsőleg reprezentált célok elérése érdekében (pl. Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001; Miller & Cohen, 2001; Shiels & Hawk, 2010).

A VF tekinthető egyfajta rendszernek, amelyet különböző komponensek alkotnak (Miyake & Friedman, 2012; Miyake et al., 2000; Wu et al., 2011). Továbbá úgy tűnik, hogy ezen komponensek egymással összekapcsolt és szervezett működése szükséges a célvezérelt kognícióhoz (Bari & Robbins, 2013). Miyake és munkatársai (2000) jól ismert vizsgálata szerint a VF alapösszetevők – a feladatok vagy mentális beállítódások közötti *váltás* (Shifting), a munkamemória reprezentációk monitorozása és *frissítése* (Updating) és a domináns vagy prepotens válaszok *gátlása* (Inhibition) – egyszerre egységesek és elkülöníthetők. A szerzők által használt megközelítés egy aktuális eredménye az ún. *Közös VF faktor* szerepére világított rá, amely a VF egységességét hivatott megragadni, és amelyet úgy értelmeztek, mint egy olyan képességet, amely lehetővé teszi a feladatcélok aktív fenntartását (Miyake & Friedman, 2012). Az alapösszetevők között – ahogy ez a tanulmány is rávilágított – a gátlási kontroll

specifikus szerepet tölt be. Ez sem tekinthető egységes konstruktumnak, inkább jól *megkülönböztethető* képességek alkotják (pl. Barkley, 1997; Friedman & Miyake, 2004; Nigg, 2000). Két gátlási alfolyamat – az *interferencia elnyomás* (interferencia szűrés) és a *válaszgátlás* – disszociációja gyakran vizsgált jelenség a kognitív idegtudományban (Bryce, Szűcs, Soltész, & Whitebread, 2011; Brydges et al., 2012; Bunge, Dudukovic, Thomason, Vaidya, & Gabrieli, 2002). Röviden, a válaszgátlás a prepotens viselkedéses válaszok elnyomásának képessége, míg az interferencia elnyomás az ingerversengésből fakadó interferencia megakadályozására vonatkozik. A különböző VF aspektusokat klasszikus *hideg* (kognitív) és *meleg* (affektív) funkcionális alrendszerként is csoportosíthatjuk (Zelazo, Qu, & Kesek, 2010). A meleg VF az emocionálisan jelentős helyzetekhez kapcsolódó viselkedésregulációban, a fontos következményekkel járó hétköznapi döntéshozatalban, valamint szociális és érzelmi funkciók általános szabályozásában játszik szerepet. A VF különböző aspektusai többféle specifikus tartalmú feladattal mérhetők. A disszertációban bemutatott EKP vizsgálatokban az *Eriksen-féle zajkompatibilitási feladat* (Eriksen & Eriksen, 1974) és a *Stroop feladat* (Stroop, 1935) egy-egy variánsát használtuk a hideg VF mérésére, míg egy, a mindennapi élethez közel álló kockázatvállalási paradigmával (*Balloon Analogue Risk Task* = BART; Lejuez et al., 2002) mértük a meleg VF aspektusokat.

Ahogy a fentebbi leírásomból is következik, nem létezik olyan egyesítő elmélet, amely a VF konkrét szerepét és a komponensei közötti kapcsolatot egyértelműen tisztázná, hanem ezeket a kérdéseket inkább több különböző elméleti megközelítés vizsgálja. Ugyanakkor a *kognitív-energetikai modell* (cognitive-energetic model = CEM; Sanders, 1983; Sergeant, 2005) képes integrálni a különböző VF komponenseket, magyarázza a feladathoz és az egyén állapotához kötődő faktorok szerepét (feladatnehézség, bevonódás, motiváció és arousal szintje), és tesztelhető predikciókat nyújt. A CEM szerint a hatékony információfeldolgozást három fő faktor interakciója határozza meg: (1) a *figyelmi komputációs mechanizmusok* (enkódolás, döntéshozatal, motoros szervezés); (2) az *energetikai vagy állapotfaktorok* (arousal, erőfeszítés, aktiváció); és (3) a mindezeket monitorozó és kontrolláló VF vagy *értékelő folyamat*. Ha a feladat során változik a kognitív terhelés, az erőfeszítés mechanizmusa egyfajta *erőforrás készletként* szupervíziós, vagy *kompenzációs* szerepet tud betölteni a két másik energetikai faktor felett. Azok mobilizálásával és gátló/serkentő szabályozásával úgy alakítja át a viselkedést, hogy a teljesítmény optimális szintre kerülhessen. Azonban a teljesítmény csak mérsékelt feladatnehézség (észlelt erőforrásigény) mellett javul, amikor az egyén elkerülheti a túlzott arousal vagy aktiváció szintet, továbbá ezen két energetikai faktor kívánt szint alatti állapotát is (Smulders & Meijer, 2008). Az erőfeszítés mechanizmus motivációs erőforrás készletnek is tekinthető, és úgy tűnik, hogy a külső *megerősítési kontingenciák* is befolyásolják, hiszen azok elegendő energiát adhatnak a rendszernek ahhoz, hogy a feladatkövetelmények teljesülhessenek (Luman, Oosterlaan, & Sergeant, 2005). A CEM-et később egy ADHD-ra adaptált általános elméleti keretként és kutatási stratégiaként fogalmazták újra, amely az ADHD-ban sérült működéseket az energetikai faktorok szerepével magyarázza (Sergeant, 2005).

Több EKP komponens is tekinthető a VF elektrofiziológiai korrelátumának. Az anterior/centrális *N2* komponens az inger kezdetét követően 200-450 ms-mal jelenik meg, és funkciójában a kognitív kontrollhoz kapcsolódik. Az Eriksen-feladatot használó EKP vizsgálatokban gyakori jelenség, hogy az *N2*-t két elkülönülő alkomponensre lehet bontani (Gehring, Gratton, Coles, & Donchin, 1992; Kopp, Rist, & Mattler, 1996), amelyek külön-külön tükrözik a kontrollhoz és az eltérés feldolgozásához kapcsolódó funkciókat (Folstein & van Petten, 2008). A centrális/centroparietális *P3* az ingerbemutatást követően 250-700 ms-mal jelenik meg, és szintén kötődik a gátlási kontroll folyamataihoz (Johnstone, Barry, Markovska, Dimoska, & Clarke, 2009; Johnstone, Watt, & Dimoska, 2010). A nagyobb *P3* amplitúdó feltételezhetően a figyelmi erőforrások megnövekedett felhasználást tükrözi (Kok, 2001).

A *lateralizált készenléti potenciál* (Lateralized Readiness Potential = LRP) a szelektív motoros felkészülés mutatója (Coles, 1989), így hasznos eszköze a motoros folyamatok valós idejű vizsgálatának. Az LRP a motoros kéreg felett a válaszkészhez képest kontra- és ipszilaterálisan elhelyezett elektródák közötti elektromos potenciálkülönbségeket összegzi (Coles, 1989; Szűcs, Soltész, Bryce, & Whitebread, 2009). Az LRP segítségével kimutatható a *rejtett helytelen* válasz előkészítés (pozitív irányú eltérés) és az azt követő helyes válasz előkészítés (negatív irányú eltérés) olyan konfliktusos (pl. inkongruens) kísérleti feltételekben, ahol egyébként a nyílt viselkedéses válasz *helyes* volt (Szűcs et al., 2009). Bryce és munkatársai (2011, p. 682) érvelésének megfelelően a kezdeti helytelen válasz előkészítés amplitúdója és látenciája tekinthető a korai interferencia elnyomás mutatójának, míg a helytelen válasz előkészítésből a helyes válasz előkészítésbe történő átmenet az inkongruens feltételben a későbbi válaszgátlás folyamatát tükrözi.

A *hibázási negativitás* (error-negativity = Ne; Falkenstein, Hohnsbein, Hoormann, & Blanke, 1991) vagy *hibázáshoz kötődő negativitás* (error-related negativity = ERN; Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993) olyan válaszhoz kötött negatív potenciál, amely 50-100 ms-mal a hibás válasz kivitelezését követően jelenik meg frontocentrális maximummal, ha az inger-válasz leképezés ismert (Ullsperger, Fischer, Nigbur, & Endrass, 2014). Általában az ERN-t a hibadetekcióhoz kapcsoló komponensként jellemzik, amely igen hamar jelzi a viselkedés szabályozásának szükségét (Endrass, Klawohn, Gruetzmann, Ischebeck, & Kathmann, 2012). Az ERN-t rendszerint követi a *hibázási pozitivitás* (error-positivity = Pe), amely többek között a tudatos hibafeldolgozást tükrözi (Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom, Band, & Kok, 2001; Simons, 2010).

A *visszajelzéshez kötődő negativitás* (feedback-related negativity = FRN) egy olyan ingerhez kötött frontocentrális komponens, amely az adott feladatban a személy számára negatív (nemkívánatos) visszajelzést követően 200-300 ms-mal jelenik meg (Holroyd & Coles, 2002; Miltner, Braun, & Coles, 1997; Walsh & Anderson, 2012). Az FRN az externális visszajelzés (feedback) gyors kiértékelését mutatja. Az FRN-t követően is rendszerint megjelenik egy (vagy több) pozitív eltérés; a *feedback P3* a kimenetek kidolgozottabb kiértékelését jelzi (Euser et al., 2013). Az ERN és FRN komponensek funkcionális relevanciáját és a háttérükben álló idegi struktúrák működését a

megegerősítéses tanulás elmélete (reinforcement learning theory of the error-related negativity; Holroyd & Coles, 2002) foglalja általános keretbe. A válaszhoz és visszajelzéshez kötött ERN-ek a poszterior mediális frontális kéreg (pmFC) *generikus hibafeldolgozási rendszerének* indikátoraiként tekinthetők (Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, & Nieuwenhuis, 2004).

Ezen neurális indexek modulációja a vonásimpulzivitás és az ADHD lehetséges *biomarkerének* tekinthető. Az *impulzivitás* egy olyan többdimenziós személyiségvonás, amely az azonnali jutalmak, a kockázatos tevékenységek, és az új tapasztalatok iránti preferenciát jelöli (Bari & Robbins, 2013). Továbbá jellemző, hogy az impulzív személyek még azelőtt gyors, nem tervezett válaszokat adnak az ingerekre, hogy annak információtartalmát teljesen feldolgoznák (Arce & Santisteban, 2006). A különböző pszichiátriai kondíciókban megjelenő impulzív tünetek okaként leggyakrabban a gyenge gátlási kontrollt jelölik meg (Bari & Robbins, 2013). Azonban nem világos, hogy milyen mértékben képzik a gyenge gátlási alfolyamatok a vonásimpulzivitás nem klinikai populációban megjelenő formájának alapját (Dimoska & Johnstone, 2007). A korábbi N2 és P3 eredmények nem támasztották alá következetesen az elégtelen gátlási kontroll jelenlétét vonásimpulzivitásban (pl. Kam, Dominelli, & Carlson, 2012). Eysenck (1993) elképzelése szerint a magasan impulzív egyének arousal szintje alacsonyabb, mint az alacsony impulzivitású egyéneké. Ennek következtében egy olyan feladatban, amely megemelkedett arousal szintet eredményez, teljesítményjavulás érhető el magasan impulzív egyéneknél, és teljesítményromlás alacsonyan impulzív személyeknél. Következésképpen a gátlási kontroll és teljesítménymonitorozás vonásimpulzivitásban tapasztalható eltérései értelmezhetők a kognitív-energetikai modell keretében. Ezt a feltételezés vizsgálatom az *első* és *második* vizsgálatban.

Az internális és externális negatív visszajelzés detektálása és kiértékelése alapvető szerepet játszik a humán tanulásban és viselkedésben. Azonban a visszajelzések feldolgozásában a VF részvétele jelenleg még nem teljesen tisztázott. Schiebener, Wegmann, Pawlikowski és Brand (2012) szerint a magas szintű VF lehetővé teszi, hogy választási helyzetekben az egyének felülkerekedhessenek a negatív kontextuális hatásokon. Egy másik tanulmány pedig azt mutatta, hogy a BART-ban a negatív eseményekre kapott csökken amplitúdójú FRN az alkoholizmus általános kockázati faktorával állt kapcsolatban, és ezen csökkenés lehetséges gyökerének a frontostriatális neurális körökben beállt változásokat és a VF-et tekintették (Fein & Chang, 2008). Azonban a VF viselkedéses mérése nélkül a kognitív kontroll és az FRN közötti kapcsolat természete feltáratlan maradt. Továbbá a VF hatását a hosszú távú alkoholhasználat mint zavaró faktor *nélkül* kellene vizsgálni. A *harmadik* vizsgálatomban ezt a témát igyekeztem tisztázni.

Az ADHD erősen *heterogén* tüneti profiljának tanulmányozása több különböző, a szindróma hátterét magyarázó etiológiai elmélet megszületéséhez vezetett (Sergeant, Geurts, Huijbregts, Scheres, & Oosterlaan, 2003). Sokáig úgy tűnt, hogy az ADHD kapcsán a VF érintettsége tekinthető elsődleges neurokognitív deficitnek (pl. Barkley, 1997; Coghill, Hayward, Rhodes, Grimmer, & Matthews, 2013; Willcutt, Doyle, Nigg, Faraone, & Pennington, 2005). Azonban az ADHD-val diagnosztizált gyermekek csak 35-50%-a

jellemezhető VF problémákkal (Nigg, Willcutt, Doyle, & Sonuga-Barke, 2005; Sjöwall, Roth, Lindqvist, & Thorell, 2013). Mindazonáltal ebben az esetben sem egyértelmű, hogy a gyenge gátlási kontroll milyen mértékben jellemzi az ADHD-t, és hogy az interferencia kontrollja (Cao et al., 2013; van Mourik, Oosterlaan, & Sergeant, 2005) vagy a válaszgátlás (Nigg, 2001; Willcutt et al., 2005), esetleg mindkettő sérült-e. Ráadásul csak néhány tanulmány vizsgálta az enkódolás és válaszszervezés EKP korrelátumait, azaz az információfeldolgozás perifériális szakaszainak érintettségét is. Holott az ADHD szabályozási modelljeivel (pl. a CEM) összhangban Sergeant (2005) azt javasolja, hogy a kutatásokban fordítsanak több figyelmet a komputációs feldolgozási szakaszok, az állapotfaktorok és a VF kölcsönhatásainak vizsgálatára annak érdekében, hogy a gátlás lehetséges érintettségének eredendő okát megértsük. A javaslatot követve csak néhány EKP módszert használó tanulmány jelent meg, amelyek eredményei többé-kevésbé támogatják az atipikus állapotregulációt és a megváltozott teljesítménymonitorozást ADHD-ban (Johnstone, Barry, & Clarke, 2013). Ennek következtében gyermekkori ADHD-ban potenciálisan megmutatkozó elégtelenségeket az információfeldolgozás több szintjén vizsgáltam a *negyedik* vizsgálatban.

3. Hipotézisek

A fentiek alapján disszertációm általános hipotéziseim az alábbiak voltak.

- 1) A vonásimpulzivitást jellemző elégtelen gátlási kontroll a szuboptimálisan működő arousal és erőfeszítés mechanizmus következménye. A CEM predikciói szerint a magas impulzivitású személyek gátlási teljesítménye mérsékelt feladatnehézség mellett javul.
- 2) Amikor mérsékelt feladatnehézség mellett erőfeszítést igényel a teljesítmény fenntartása, a teljesítménymonitorozás is növekszik magas impulzivitás esetén.
- 3) A magasabb hideg VF teljesítmény úgy befolyásolja a bizonytalan helyzetekben mutatott döntéshozatalt és visszajelzés feldolgozást, hogy eltérő feladat megoldási stratégiát okoz.
- 4) Az információfeldolgozás több szakasza érintett ADHD-ban, és a válaszgátlás specifikus sérülése nem erősíthető meg maradéktalanul.

Ezen feltételezések vizsgálatára négy EKP kísérletet végeztünk különböző paradigmák használatával. A továbbiakban a tanulmányok főbb eredményeit fogom bemutatni és értelmezni.

4. Tézisek

4.1. Gátlási kontroll és hibafeldolgozás vonásimpulzivitásban

1. tézis. *A magas impulzivitású személyek feldolgozási sebessége és motoros válaszaik előkészítése lassabb volt az alacsony impulzivitású személyekhez képest a kongruencia és a feladatnehézség hatásától függetlenül. Ugyanakkor az inkongruens LRP későbbi látenciája és a kongruencia hatásának hiánya a P3 amplitúdón utalhat a gátlási folyamatok részleges érintettségére vonásimpulzivitásban.*

2. tézis. Az inkongruens hibás válaszok által kiváltott ERN amplitúdója a magas impulzivitású csoportban kisebb volt az alacsonyhoz impulzivitású csoporthoz képest közepes és magas feladatnehézség esetén. Ez az eredmény arra utal, hogy amikor több erőforrást igényel a teljesítmény fenntartása, a vonásimpulzivitást sérült hibadetekció jellemzi. A teljesítmény optimalizálódását nem figyelhettük meg.

3. tézis. A CEM energetikai faktorainak manipulációja nem járult hozzá a gátlási kontroll problémák és a megváltozott teljesítménymonitorozás mélyebb megértéséhez vonásimpulzivitásban, ami ellentmond az első és második hipotézisnek.

Az első vizsgálat célja a vonásimpulzivitásban megmutatkozó különböző gátlási kontroll problémák tesztelése volt a CEM alapján. Ez a potenciális gyengeség a szuboptimális mértékű arousal és feladathoz kapcsolódó erőforrás készlet következménye lehet, ami megzavarja a teljesítményt. Ennek vizsgálatára egy módosított Eriksen-feladatot használtunk (lásd még Johnstone et al., 2010), amelyben az arousal és erőfeszítés (észlelt erőforrásigény) mechanizmusokat vizuális inger degradáció segítségével befolyásoltuk. Ilyen módon ezen egyszerű interferencia feladat *nehézségét* manipuláltuk (*alacsony* nehézség: nincs degradáció, *közepes* nehézség: mérsékelt degradáció, *magas* nehézség: erős degradáció). Fiatal felnőtt egyetemista résztvevőinket előzetesen a *Barratt Impulzivitás Skálán* (BIS; Patton, Stanford, & Barratt, 1995; Stanford et al., 2009) elért összesített pontszámuk alapján alacsony ($n = 15$) és magas ($n = 15$) impulzivitású csoportokba soroltuk. Az RI-n és pontosságon kívül EKP komponenseket (N2b, N2c, P3, LRP) mértünk a helyesen megválaszolt célingerek bemutatásához időzítve.

Ugyanezen résztvevők egy szűkített mintáján – akik bizonyos kritériumok szerint elegendő hibát vétettek az Eriksen-feladatban ($n_{\text{(alacsony)}} = 10$; $n_{\text{(magas)}} = 10$) – elvégeztük az adatok másodelemzését. Korábbi vizsgálatok tanúsága szerint a magasán impulzívoknak nehézségeik vannak az önmonitorozással és a hibáikból való tanulással kapcsolatban (Hall, Bernat, & Patrick, 2007; Olvet & Hajcak, 2008), főként akkor, amikor a megerősítési kontingenciákat manipulálják a kísérletekben (Martin & Potts, 2009; Potts, George, Martin, & Barratt, 2006). Ennélfogva a hibafeldolgozás EKP korrelátumait is megvizsgáltuk, valamint azt, hogy ezeket a folyamatokat modulálja-e a feladatnehézség egy olyan VF feladatban, amelyben a motivációs szintet nem változtatjuk (lásd az előbbi Eriksen-feladat). Másként megközelítve a flexibilis viselkedésregulációt teszteltük egy olyan helyzetben, ahol változtak a feladatkövetelmények. Az inkongruens próbákban vétett hibák által kiváltott ERN és Pe komponenseket elemeztük. Ezenfelül az RI adatok komplex elemzése (az ex-gaussi eloszlás három fő paraméterének elemzése és a hibázást követő lassulás elemzése (post error slowing), lásd Danielmeier & Ullsperger, 2011; Lacouture & Cousineau, 2008) további betekintést engedett a magas impulzivitású személyek válaszstratégiáiba.

A magas impulzivitású személyek RI-je a többi kísérleti faktortól függetlenül magasabb volt, mint az alacsony csoporté, de a két csoport hasonló pontossággal oldotta meg a feladatot. Ez az általános lassulási hatás az EKP-ban is megmutatkozott: a P3 és az LRP csúcslátenciája (1. ábra) késett a magas impulzivitású csoportban az alacsonyhoz

képest, függetlenül a többi kísérleti faktortól. Ez a váratlanul lassabb helyes válasz RI akkor is szignifikáns volt, ha a kisebb minta teljesítményét elemeztük. Az ex-gaussi eloszlás μ és σ paraméter értékei szintén nagyobbak voltak a magas impulzivitású csoportban, és a τ értéke is tendencia szinten magasabb volt. Ez az eredmény azt jelezte, hogy nemcsak az átlagos RI volt általában véve lassabb, hanem az RI próbánkénti heterogenitása is magasabb volt, továbbá a magas impulzivitású csoport valamivel több figyelmi kihagyást is produkált. Azonban a hibázást követő lassulás hasonló mértékű volt a két csoportban, ami azt sugallja, hogy a lassulási hatás nem korlátozódott a viselkedés kiigazítására.

Az N2b komponenst az ingerrontás befolyásolta, és nem bizonyult érzékenynek a kongruencia manipulációra (lásd még Johnstone et al., 2010). Azonban a nehezebb vizuális ingerdiszkrimináció esetén tapasztalt amplitúdó növekedés statisztikailag csak az alacsony impulzivitású csoportban volt szignifikáns az inkongruens próbákban. Az N2c azt indikálta, hogy a válaszkonfliktus monitorozását csak a feladatkövetelmények befolyásolták, a vonásimpulzivitás mértéke nem. Ez az eredmény arra utal, hogy a válaszkonfliktus monitorozása intakt a magas impulzivitású csoportban, ami összhangban van a viselkedése szinten tapasztalt hasonló pontossággal. A hosszabb P3 látencia ugyanebben a csoportban lassabb ingerkiértékelést tükröz (Polich, 2007). A P3 amplitúdója csak az alacsony impulzivitású csoportban volt kisebb mérsékelt ingerrontás esetén az inkongruens próbákban, ami azt tükrözheti, hogy az egyének ebben az esetben kisebb mértékben használták a figyelmi erőforrásaikat (Kok, 2001). Továbbá a P3 amplitúdó szintén csak ebben a csoportban növekedett meg az inkongruencia hatására az ingerrontás nélküli helyzetben, ami részleges interferencia hatást tükröz (Ridderinkhof & van der Molen, 1995). Ennek a hatásnak a hiánya a magas impulzivitású csoportban bizonyos mértékben megerősítheti a gátlási problémák feltételezett jelenlétét.

A kísérleti hatásoktól függetlenül az LRP csúclátenciája hosszabb volt a magas impulzivitású csoportban. Azonban feltételezéseinkkel ellentétben az inkongruens LRP kezdeti pozitív eltérésének amplitúdója (helytelen válaszkéz aktivációja) nem különbözött a csoportok között, csak a látenciája volt hosszabb, ami részben alátámasztja a magas impulzivitásban tapasztalható interferenciára való erősebb fogékonyságot (Bryce et al., 2011). Az inkongruens LRP későbbi szakasza, a negatív eltérés (helyes válaszkéz aktivációja) késése nem kizárt, hogy gyengébb válaszgátlást (Aichert et al., 2012; Bari & Robbins, 2013) és lassabb válaszszervezést tükrözött. Összességében nem tudtuk egyértelműen alátámasztani a gátlási funkciók érintettségét vonásimpulzivitásban, de egy *általános késést* sikerült kimutatni a motoros aktivációban.

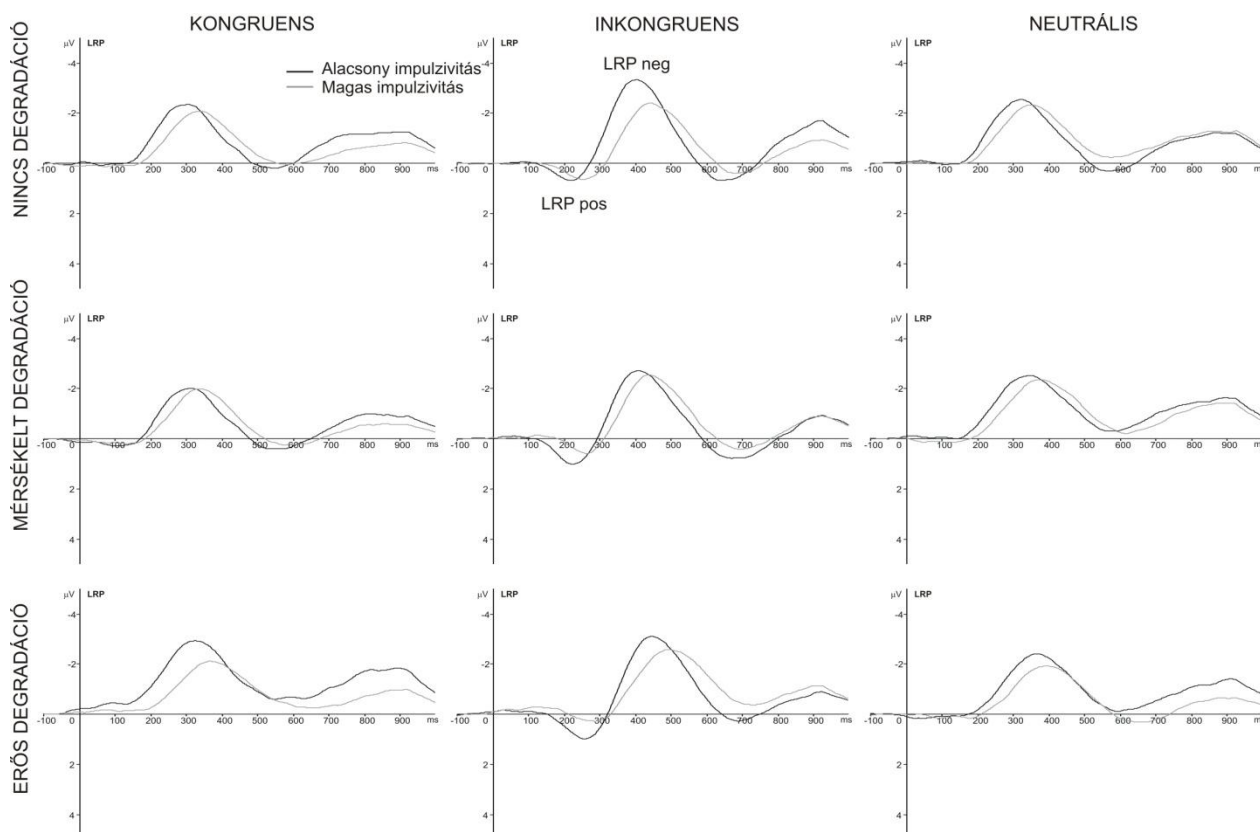
A hibás válaszok által kiváltott ERN amplitúdója kisebb volt a magas impulzivitású csoportban az alacsonyhoz képest közepes és magas feladatnehézség mellett (2. ábra). Eszerint a hibadetekció folyamatai csak akkor gyengébbek, ha több erőforrást igényel a feladatkövetelményeknek való megfelelés (Martin & Potts, 2009; Potts et al., 2006; Ruchow, Spitzer, Gron, Grothe, & Kiefer, 2005). Ugyanakkor a két csoport között nem találtunk különbséget sem a Pe amplitúdójában, sem annak látenciájában, ami arra utal, hogy a hibák elaboráltabb feldolgozása nem sérült a magas

impulzivitásban. Lényeges, hogy a csökkent mértékű teljesítménymonitorozást csak neurális szinten figyeltük meg, hiszen a csoportok hasonlóan pontosan oldották meg a feladatot (lásd még Hall et al., 2007).

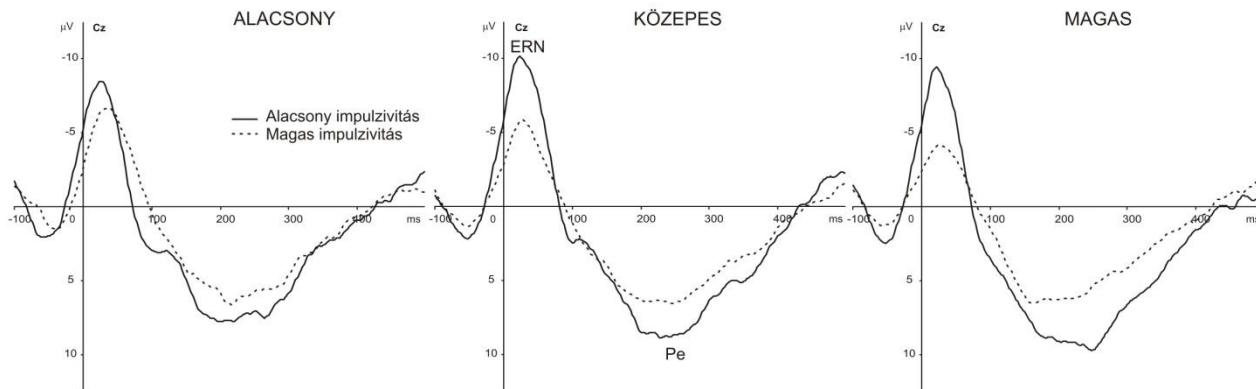
Érdekes módon az ERN amplitúdó csoporton belüli változása eltérő irányú volt a különböző csoportban. Az ERN szignifikánsan növekedett az ingerrontás nélküli helyzetről a mérsékelt ingerrontási helyzetre az alacsony impulzivitású csoportban, miközben a magas csoportban az ERN csökkent az ingerrontás nélküli helyzet és az erős ingerrontás között. Ennek az eredménynek a tisztázása további vizsgálatokat igényel, mivel az alacsony impulzivitású csoportban tapasztalt változást plauzibilisen az ERN ún. motivációs szignifikancia elmélete magyarázza (pl. Hajcak, Moser, Yeung, & Simons, 2005), míg az eltérési (reprezentáció illesztési) elmélet (Falkenstein, Hoormann, Christ, & Hohnsbein, 2000) könnyebben jelzi előre a magas csoportban tapasztalt változást.

4.1.1. A CEM-re vonatkozó következtetések

Eredményeink többsége nem tudja alátámasztani a CEM predikcióit vonásimpulzivitásban az atipikus gátlási kontrollal és teljesítménymonitorozással kapcsolatban. Ugyan néhány gyengébb eredmény összhangban van CEM predikcióival, de ezek nem korlátozódtak a magas impulzivitásra. Mérsékelt ingerrontás esetén magasabb válaszpontosságot találtunk a teljes mintában, ami a résztvevők általi alacsonyabb mértékű észlelt erőfeszítéssel is összhangban volt. Ahogy említettem, a P3 amplitúdó kisebb volt mérsékelt ingerrontás esetén a másik két kísérleti feltételhez képest, ami felveti a kevesebb figyelmi erőforrás használatának lehetőségét, de ez csak az alacsony impulzivitású csoportra volt igaz. Az inkongruens próbák hibás válaszainak aránya kis mértékben (leíró szinten) csökken a mérsékelt ingerrontás mellett az ingerrontás hiányához képest, és ennek megfelelően az ERN amplitúdó is csökkent, amit egyfajta optimalizációnak tekinthetünk a teljesítményben. Azonban ezt a változásmintázatot csak az *alacsony impulzivitású* csoportban figyeltük meg, és elképzelhető, hogy ezek az egyének valóban erőteljesebb önmonitorozást mutattak a nehezebb feladat mellett.



1. ábra. LRP nagytalagok (C3 és C4 elektródák alapján számolva) az alacsony és magas impulzivitású csoportokban. Az „LRP pos” a helytelen válasz előkészítését jelöli, az „LRP neg” a helyes válasz előkészítését.



2. ábra. EKP nagytalagok (ERN és Pe) a Cz elektródán az alacsony és magas impulzivitású csoportokban alacsony, közepes és magas feladatneheztség mellett.

4.2. Eltérő stratégiák bizonytalan döntéshozatali helyzetben

4. tézis. *Kimutattuk, hogy a bizonytalan döntési helyzeteket magában foglaló BART-ban a hideg VF magasabb szintje modulálja a negatív kimenetekre megjelenő FRN és P3 komponenseket. Ugyanakkor a feladat viselkedéses változóit a VF szintje nem befolyásolta. Értelmezésünk szerint az FRN és P3 nagyobb amplitúdója a magas VF csoport modellalapú feladat megoldási stratégiáját tükrözi, ami megerősíti a harmadik hipotézist.*

A hideg VF feladatokkal mért VF fogalma és a *döntési bizonytalanság* – amely sok meleg VF feladatban jelen van (Brand, Labudda, & Markowitsch, 2006) – fogalma átfedi

egymást abban az értelemben, hogy az ezekhez kapcsolódó feladathelyzetekben az egyének válaszkonfliktussal szembesülnek, és a viselkedés megváltoztatása szükséges ahhoz, hogy a feladatkövetelményeket teljesíteni tudják (Mushtaq, Bland, & Schaefer, 2011; Ridderinkhof et al., 2004). Bizonyos csoportokban (pl. kétnyelvűek, fordítók, veleszületett vakok) úgy tűnik, hogy a VF néhány aspektusa magasabb szinten működik, mint a neurotipikus populációban (Hugdahl et al., 2009; Martin-Rhee & Bialystok, 2008). Azonban EKP módszerrel még nem vizsgálták, hogy a fokozott VF hogyan befolyásolja a BART teljesítményt. A BART a kockázatvállaló viselkedésre való hajlamosságot méri, megoldása közben döntési bizonytalansággal szembesülnek az egyének, és a feladat különböző stratégiákkal oldható meg. A harmadik vizsgálattal az volt a célunk, hogy lefedjük a VF dimenzió „felső”, atipikus tartományát is olyan fiatal felnőtt egyetemistákat vizsgálva, akik magasabb teljesítményt mutatnak hideg VF feladatokon.

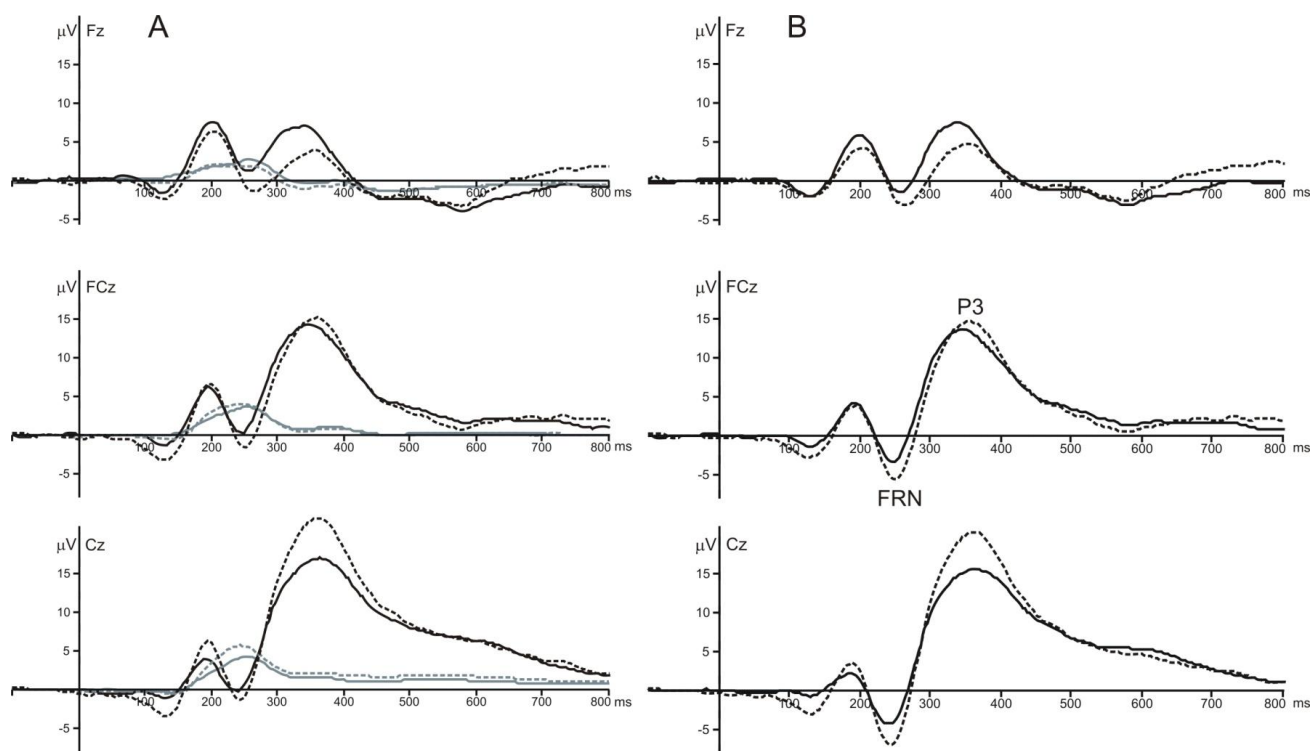
Résztvevőinket magas VF ($n = 16$) vagy alacsony VF ($n = 16$) csoportokba osztottuk annak függvényében, hogy hogyan teljesítettek az alapvető VF komponenseket mérő neuropszichológiai feladatokon (Váltás – Verbális fluencia feladat, Frissítés – Hallási mondattejedelem teszt, Gátlás – Go/No-Go feladat). A BART végrehajtása közben rögzített EKP-t elemeztük. Ebben a feladatban a résztvevőket arra kérjük, hogy egy a képernyőn bemutatott lufit fújjanak fel fokozatosan gombnyomások segítségével. Minden sikeres belefújáskor jutalmat kapnak (jelen esetben ez növekedést jelent a pontszámban). Minden egyes belefújást követően a résztvevők választhatják azt, hogy abbahagyják a lufifújást, és az adott lufival gyűjtött jutalmat beteszik a „bankba”. Ehelyett választhatják a lufi tovább fújását is a jutalom növelésének érdekében. Azonban ha a lufi kidurran, az azzal a lufival összegyűjtött jutalom elveszik, ezt követően pedig egy új, üres lufi jelenik meg a képernyőn. A résztvevőktől azt kértük, hogy próbálják a lehető legtöbb pontot összegyűjteni. Lényeges, hogy a lufi kidurranásának valószínűsége minden egymást követő fújással növekszik, de a konkrét szabály, amely meghatározza a durranást, ismeretlen a résztvevők számára (Lejuez et al., 2002). Ezért minden egyes további belefújás tekinthető kockázatos választásnak, és mivel az adott kimenet (durranás vagy növekedés) valószínűsége ismeretlen a résztvevők számára, a feladat struktúrája közelebb áll a mindennapi kockázatvállaló viselkedés jellemzőihez, mint más meleg VF vagy szerencsejáték feladatok esetében (Helfinstein et al., 2014).

Vizsgálatunk eredményei szerint a BART viselkedéses változóiban nem találtunk csoportok közötti eltérést, ami hasonló döntéshozatali mechanizmusokra utal. Azonban az EKP korrelátumok eltértek a két csoport között. A nemkívánatos kimenetre (durranás) megjelenő FRN amplitúdója nagyobb volt, látenciája pedig későbbi a magas VF csoportban az alacsony VF csoporthoz képest (3. ábra). Ugyan kisebb mértékben, de az FRN-t követő P3 ugyanilyen irányú csoportok közötti eltérés mutatott. Mivel úgy tűnik, hogy az FRN a kimenetek szálenciáját (is) kódolja, eredményeinket értelmezhetjük úgy, hogy a fokozott VF teljesítményű csoport modellalapú stratégiát használt. Ezt az elképzelést alább kifejtem.

Bizonytalan döntéshozatali helyzetekben legalább kétféle mód nyílik az adaptív válaszmódosításra. A modellalapú tanulás során a feladat struktúrájára vonatkozó különböző hipotézisek tesztelésével hozzuk meg döntéseinket. A feladatstruktúra

azonban hipotézis-független módon is tanulható (Nemeth, Janacsek, Polner, & Kovacs, 2013). A hipotézisvezért stratégia jobban kapcsolódik a VF folyamatokhoz (Nemeth et al., 2013), amelyek egyébként kevésbé tűnnek hasznosnak olyan feladatok esetében, ahol implicit szabályokra kell támaszkodni és bizonytalan kimenetek mellett kell döntéseket hozni (Filoteo, Lauritzen, & Maddox, 2010). A VF alapvető szerepét ugyanis igazolták a kockázatkerülő választási stílus követésében a BART kapcsán (kevesebb lufifújás, a jutalom transzferálásának magasabb valószínűsége, lásd Fecteau et al., 2007; Helfinstein et al., 2014). Jelen vizsgálatban a magas VF résztvevők feltehetőleg a feladat során szerzett korai tapasztalatok alapján kiépített belső modelljeikre támaszkodó kimeneti elvárások tesztelése alapján oldották meg a feladatot. Következésképpen minden egyes negatív kimenetet szálens új információként kezelhettek, amely nagyobb FRN-t váltott ki (Talmi, Atkinson, & El-Deredy, 2013).

Ugyanakkor az FRN növekedést a negatív kimenetekre való túlérzékenység manifesztumaként is értelmezhetjük (Onoda, Abe, & Yamaguchi, 2010), ami egyébként kapcsolódik a hipotézisvezérelt stratégiához. Specifikusan, a magas VF csoport a teljesítmény szempontjából szálens eseménynek kezelhette a durranást, hiszen az megsérthette elvárásait, modelljeit. Az FRN a visszajelzés feladatteljesítményre vonatkozó relevanciáját is jelzi (Yeung, Holroyd, & Cohen, 2005). Ennek értelmében pedig a magas VF csoport a durranásokat fontosabb negatív eseménynek gondolhatta, mint az alacsony VF csoport. A nagyobb P3 amplitúdó a magas VF csoportban arra utalhat, hogy a motivációs szempontból fontos események további feldolgozása nagyobb figyelmet igényelhetett. Összességében elmondható, hogy az EKP eredmények alátámasztják a VF befolyásoló szerepét a kockázatos döntéshozatali helyzetek megoldási stratégiáiban. Továbbá azzal, hogy egészséges fiatal felnőttek mintáján sikerült kimutatnunk a VF fontosságát a visszajelzés feldolgozásban, indirekt módon hozzájárultunk a korábbi, alkoholistákat vizsgáló BART-tanulmányok eredményeihez és nyitott kérdéseinek megválaszolásához (Fein & Chang, 2008).



3. ábra. Pozitív (szürke) és negatív (fekete) visszajelzést követő EKP nagyatlagok csoportonként három (Fz, FCz, Cz) elektródán (A). A különbségi görbe (B) a negatív visszajelzéshez kötött eltérés mínusz a pozitív visszajelzéshez kötött eltérés. A folytonos vonal az alacsony VF csoport választát ábrázolja, a szaggatott vonal a magas VF csoportét. A függőleges tengely pozitív értékeit nullától felfelé jelenítjük meg.

4.3. A perceptuális-motoros feldolgozási folyamatok több szintjén mutatózó nehézségek ADHD-ban

5. tézis. *A parieto-okcipitális EKP eredmények és az inkongruens LRP-ben megmutatkozó lassabb helyes válasz előkészítés alapján azt hangsúlyozzuk, hogy a gyermekkori ADHD-ban nem a válaszgátlás érintettsége a specifikus atipikusság, hanem az információfeldolgozás több szakaszában is gyengeségek mutatkoznak. Ez összhangban van a negyedik hipotézissel. Az ADHD-s gyermekek nagyobb mértékű erőforrás allokációra kényszerültek a korábbi feldolgozási szakaszok során, ami eredményezhette az inkongruens feltételre jellemző megkésett helyes válasz előkészítést.*

Tudomásunk szerint mostanáig nincs olyan vizsgálat, amely Stroop paradigmában tesztelte volna a motoros felkészülést ADHD-s gyermekek részvételével, és az észleléstől a motoros kivitelezésig tartó információfeldolgozás EKP komponensekkel való követése sem bevett gyakorlat ezen a területen (Steger, Imhof, Steinhausen, & Brandeis, 2000; van Mourik, Sergeant, Heslenfeld, Konig, & Oosterlaan, 2011). Az inkongruens feltételben mért LRP révén elkülönülten kívántuk mérni a gátlási kontroll alfolyamatait (lásd még 1. vizsgálat). Eddig nem nyert megerősítést az a feltételezés, hogy a Stroop feladat specifikus lenne az interferencia elnyomás érintettségének kimutatására ADHD-ban, legalábbis a nyílt viselkedés szintjén. Továbbá úgy tűnik, hogy a feladat hatékonysága arra nézve, hogy az ADHD-s és tipikusan fejlődő (TF) gyermekeket elkülönítse, bizonyos mértékben a használt pontozási és mérési

protokolltól függ (Lansbergen, Kenemans, & van Engeland, 2007; van Mourik et al., 2005). Mindazonáltal nem kizárt, hogy egyértelmű csoportok közötti különbségek figyelhetők meg idegrendszeri szinten. Ezenfelül korábbi tanulmányok szerint az ADHD-ra jellemző *szuboptimális energetikai reguláció* az információfeldolgozás több szakaszát is érinti (pl. orientáció, szenzoros feldolgozás, inger kategorizáció, vizuális figyelem allokációja, lásd Benikos & Johnstone, 2009; Johnstone et al., 2010; Steger et al., 2000).

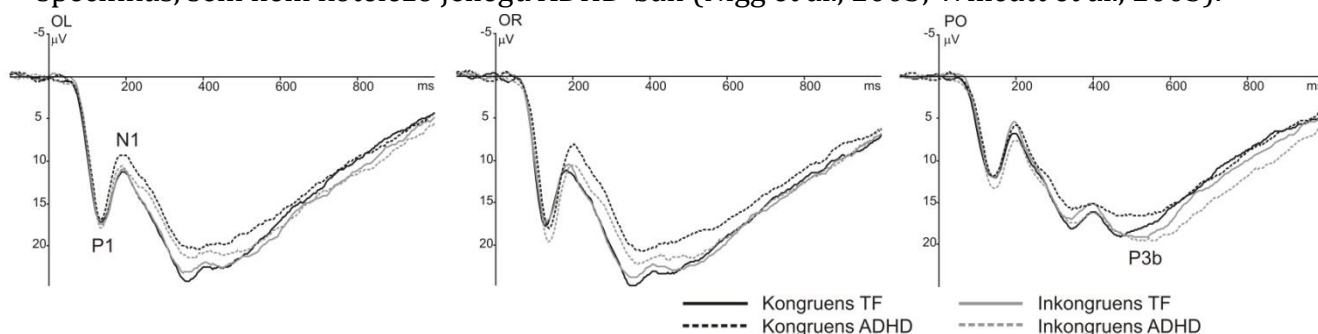
Negyedik vizsgálatunkban tehát 9-12 éves ADHD-s ($n = 14$) és TF gyermekek ($n = 14$) gátlási kontroll teljesítményét vizsgáltuk egy módosított Stroop feladatban. Résztevőinknek az ún. *állatos Stroop* feladatot adtuk, amely ugyanaz volt, mint a Bryce és munkatársai (2011) tanulmányban szereplő. Egyszerre két állat színes képét mutattuk be a képernyőn, ezek valós méretükben különböztek. Az egyik kép fizikailag nagyobb volt, mint a másik, és a gyermekek feladata az volt, hogy gombnyomás segítségével kiválasszák, melyik állat a nagyobb a valóságban. A kongruens feltételben a valóságban nagyobb állat a képernyőn fizikailag is nagyobb volt, mint a valóságban kisebb állat. Az inkongruens feltételben a valóságban nagyobb állat a képernyőn fizikailag kisebb volt, mint a másik. Többféle neuropszichológiai és IQ feladatot is felvettünk a gyermekekkel a rövid távú emlékezet, az interferencia elnyomás, az olvasási bázisképességek és az általános IQ tesztelése céljából. A különböző EKP komponenseket (LRP, P1, N1, P3b) a helyesen megválaszolt kongruens és inkongruens ingerek bemutatásához szinkronizáltan mértük. A nem optimális arousalt is jelző válaszütem variabilitást a korábbiakhoz hasonlóan (lásd 1. vizsgálat) a helyes válasz RI-re illesztett ex-gaussi eloszlás paramétereivel kvantifikáltuk.

Eredményeink szerint a helyes válaszok RI-je lassabb volt az ADHD-s csoportban, mint a TF gyermekeknél, a kongruencia hatásától függetlenül (lásd még Cao et al., 2013), de mindkét csoport egyformán sikeres volt a válaszkonfliktus feloldásában a viselkedési szinten (hasonló válaszpontosság, lásd még Johnstone et al., 2009). Az általában lassabb válaszütem az ADHD-s csoport esetén a nagyobb számú elnyúló válasznak köszönhető (nagyobb τ értékek), amely gyengébb figyelmet, gyakoribb figyelmi kihagyásokat, valamint nagyobb fokú instabilitást indikál a teljesítményben (Karalunas & Huang-Pollock, 2013; Leth-Steensen, Elbaz, & Douglas, 2000). Azonban a μ és σ paraméterek is tendencia szinten nagyobbak voltak az ADHD-s csoportban, ez utóbbi a klinikai csoportban feltételezett intra-individuális variabilitást mutatja. A neuropszichológiai mérés során az ADHD-s csoport gyengébb teljesítményt mutatott a fonológiai tudatosságot és a gyors megnevezést mérő feladatokban, ami megerősíti azt a megfigyelést, hogy különböző *nyelvi diszfunkciók* is megjelenhetnek az ADHD tünetei között (McGrath et al., 2011; Takács, Kóbor, Tárnok, & Csépe, 2014). Továbbá gyengébb teljesítményt mutatott ez a csoport a rövid távú emlékezet és az elvont gondolkodás próbáin. Összességében ezek a viselkedési eredmények az ADHD *többszörös kockázati modelljét* támogatják (Willcutt et al., 2010).

Nem várt módon egyik csoportban sem sikerült kimutatni a helyes válasz előkészítésének agyi elektromos korrelátumát a kongruens feltételben (negatív irányú eltérés az LRP-ben), ahogyan a helytelen válasz előkészítését sem az inkongruensben (pozitív irányú eltérés az LRP-ben). Következésképpen az LRP alapján a gátlási kontroll

két alfolyamata nem volt megkülönböztethető (vö. Bryce et al., 2011). Azonban a másodlagos helyes válasz előkészítés mindkét csoportban megjelent az inkongruens feltételben. Ezen választendencia szervezése és megkezdése későbbi volt az ADHD-s csoportban a TF csoporthoz képest.

Az ADHD-s csoportban a nagyobb P1 és kisebb N1 amplitúdók alapján az inkongruens ingerek perceptuális feldolgozása eltért a kongruens ingerekétől (4. ábra). Az inkongruens feltételben tapasztalt megkésett helyes válasz előkészítés fakadhatott abból, hogy a korábbi feldolgozási szakaszok során az ADHD-s gyermekek nagyobb mértékű erőforrás allokációra kényszerültek, ahogyan ezt az okcipitális EKP komponensek két feltétel közötti amplitúdó eltérései is alátámasztják. Ez a fajta csoporton belüli eltérés az ingerkiértékelés későbbi szakaszában is megjelent, ugyanis a P3b nagyobb volt az inkongruens, mint a kongruens ingereket követően a klinikai mintában, és ezt a hatást nem tapasztaltuk a TF csoportban (az EKP hullámok mindkét feltételben igen hasonlóak voltak a teljes időtartományban, lásd 4. ábra). A későbbi P3b látencia az ADHD-s csoportban arra utal, hogy a feldolgozás centrális szakasza (ingerkiértékelés) általában véve kis mértékben lassabb volt, mint a TF gyermekeknél. Összességében feltételezhetjük, hogy az ADHD-s gyermekek a szuboptimális energetikai reguláció miatt több erőforrást fektettek az inkongruens ingerek feldolgozásába annak érdekében, hogy fenntartsák teljesítményüket, mint a TF csoport tagjai. Eredményeink további bizonyítékul szolgálnak arra nézve, hogy a sérült gátlási kontrol sem nem specifikus, sem nem kötelező jellegű ADHD-ban (Nigg et al., 2005; Willcutt et al., 2005).



4. ábra. Perceptuális feldolgozással (P1 és N1) és inger kiértékeléssel (P3b) kapcsolatos EKP nagyatlagok kongruencia feltételek szerint mindkét csoportban a bal és jobb okcipitális összevont elektródákon (OL és OR), valamint a parieto-okcipitális összevont elektródákon (PO). TF = tipikusan fejlődő.

5. Megbeszélés és következtetések

Az *első három tézis* értelmében a CEM predikcióit nem tudtuk alátámasztani a vonásimpulzivitással kapcsolatban. Más szóval a feladat-releváns erőfeszítési igény mérsékelt növelése nem feltétlenül tudja optimalizálni a magasan impulzív egyének teljesítményét. Ezek az eredmények amellet szólnak, hogy érdemes volna figyelembe venni más, feladathoz kapcsolódó tényezők szerepét és eltérő elméleti megközelítéseket azért, hogy a vonásimpulzivitás többdimenziós természete kezelhető legyen (Bari & Robbins, 2013). Elképzelhető, hogy a viselkedési adatok a magas impulzivitású személyek óvatosabb feladat megoldási stratégiáját tükrözik (Kam et al., 2012). Habár a gyors válaszadási stílus a vonásimpulzivitás egyik fontos jellemzőjének tekinthető

(Pailing, Segalowitz, Dywan, & Davies, 2002; Ruchow et al., 2005), néhány eredmény szerint az impulzív egyének mégis hosszabb választendenciát mutatnak, főként a hosszú és monoton feladatokban, amelyek fenntartott figyelmet igényelnek (Arce & Santisteban, 2006; Russo, De Pascalis, Varriale, & Barratt, 2008). A megfigyelt lassabb válaszidő tükrözheti egyúttal az önbeszámolás skálák és az impulzivitás viselkedéses mérőeszközei közötti alacsony korrelációkat is, ami többek között onnan ered, hogy ezek az eszközök a vonásimpulzivitás eltérő aspektusait mérik (Sharma, Markon, & Clark, 2014). A viselkedéses adatok átfogó mintázata arra is következtetni enged, hogy nem volt megfelelő a figyelmi erőforrások allokációja a magas impulzivitású személyeknél. Mindazonáltal jelenlegi eredményeink a megkésett motoros előkészítéssel és az általános lassulási hatással kapcsolatban azt bizonyítják, hogy míg az impulzivitás klinikai formájában gyakori a sérült gátlási kontroll, a személyiségdimenzió háttere valószínűleg funkcionálisan eltérő a nem klinikai populációban (Dimoska & Johnstone, 2007).

A *negyedik tézis* szerint a fokozott VF eltérő feladat megoldási stratégiát idéz elő bizonytalan döntési helyzetekben. Ezt mutatta a nagyobb FRN és P3 amplitúdó a BART-ban. Mivel az FRN modulációját egyes pszichopatológiák lehetséges biomarkereként tekintik, a komponens funkcionális jelentőségének világosabb megértése, és a döntéshozatal hátterét alkotó neurális és kognitív alrendszerek feltérképezése lényeges feladat a további kutatások számára (Talmi et al., 2013).

Ahogy az *ötödik tézis*ben is utaltam rá, az egyértelműen sérült gátlási kontrollt a gyermekkori ADHD-val kapcsolatban *sem* találtuk meg (vö. Barkley, 1997). Ehelyett korábbi vizsgálatok eredményeit megerősítve azt találtuk, hogy az ADHD-ban gyengeségek mutatkoznak az információfeldolgozás több szakaszán is (vö. Benikos & Johnstone, 2009; Johnstone et al., 2010). A neuropszichológiai eredmények és az ex-gaussi elemzések is alátámasztják a többszörös problémák jelenlétét eltérő kognitív folyamatokban és az összteljesítmény magasabb variabilitását (Douglas, 1999). Ennek értelmében vizsgálatunk támogatja azt a megfigyelést, hogy az ADHD kognitív profilja *erősen heterogén* (pl. Nigg et al., 2005; Sjöwall et al., 2013). Elképzelhetőnek tartjuk azt is, hogy az elvárt LRP mintázat hiánya (erről lásd még Szűcs, Soltész, Jármí, & Csépe, 2007) származhat a jelenlegi és a korábbi tanulmányokban szereplő minták közötti eltérésekből (pl. életkori tartomány, nemzetiség/oktatási rendszer), és a feladat specifikus tulajdonságaihoz kapcsolódó, más Stroop feladatoktól eltérő megoldási stratégiákból. Ez utóbbi lehet egy nyelvi alapú *szemantikus stratégia*, ami magában foglalja az állatok valós méretének előhívását a szemantikus emlékezetből. Emiatt a próbákban hozott döntések a valós méretekről való szemantikus tudásban mutatkozó egyéni különbségektől is függhettek, ami arra enged következtetni, hogy a Stroop feladat ezen verziója nem feltétlenül méri tisztán a sztenderd Stroop hatást.

Összefoglalva, a vonásimpulzivitás és az ADHD EKP-val megragadott neurokognitív háttere jóval bonyolultabbnak tűnik annál, minthogy ezeket a jelenségeket a sérült gátlási kontroll vagy a sérült VF megnyilvánulására korlátozzuk. A további vizsgálatok számára az egyik legnagyobb kihívás, hogy az impulzivitás fogalmát a pszichológia különböző területei eltérően definiálják (Sharma et al., 2014), és az ADHD

diagnózisa jelenleg is vitatott (Valo & Tannock, 2010). A VF és az adaptív szabályozás egy olyan kidolgozottabb neurokognitív modelljére volna szükség, amely jobban magyarázza az enyhe, mérsékelt és súlyos VF problémákat, valamint a dimenzió felső tartományát is.

6. A disszertáció témájához kapcsolódó publikációk

6.1. Cikk

Kóbor, A., Takács, Á., Honbolygó, F., & Csépe, V. (2014). Generalized lapse of responding in trait impulsivity indicated by ERPs: The role of energetic factors in inhibitory control. *International Journal of Psychophysiology*, 92(1), 16-25.

Kóbor, A., Takács, Á., Urbán, R., & Csépe, V. (2012). The latent classes of subclinical ADHD symptoms: Convergences of multiple informant reports. *Research in Developmental Disabilities*, 33(5), 1677-1689.

Kóbor, A., Takács, Á., & Csépe, V. (2012). Towards a dimensional approach: Screening and diagnosing subclinical groups. *ADHD in practice*, 4(1), 7-9.

Kóbor A., Takács Á., Csépe V. (2010). A végrehajtó funkciók neuro-pszichometriai perspektívából. *Pszichológia*, 30(3), 233-252.

Takács, Á., **Kóbor, A.**, Honbolygó, F., & Csépe, V. (review alatt). Does rare error count in impulsivity? Difference in error-negativity. *Journal of Psychophysiology*.

Kóbor, A., Takács, Á., Janacsek, K., Németh, D., Honbolygó, F., & Csépe, V. (review alatt). Different strategies underlying uncertain decision making: Higher executive performance is associated with enhanced feedback-related negativity. *Psychophysiology*.

Kóbor, A., Takács, Á., Bryce, D., Szűcs, D., Honbolygó, F., Nagy, P., & Csépe, V. Children with ADHD show impaired early visual processing and inhibitory control in a Stroop task: An ERP study. Beküldés alatt: *Developmental Neuropsychology*.

6.2. Konferenciák

Takács, Á., **Kóbor, A.**, Honbolygó, F., & Csépe, V. (2013). Does rare error count in impulsivity? Differences in error-related ERPs. *Eighteenth Meeting of the European Society for Cognitive Psychology*, Budapest (poszter).

Kóbor, A., Takács, Á., Bryce, D., Szűcs, D., Honbolygó, F., Nagy, P., & Csépe, V. (2013). Impaired inhibitory control in ADHD: Evidence from an ERP study. *Eighteenth Meeting of the European Society for Cognitive Psychology*, Budapest (poszter).

Kóbor, A., Takács, Á., Honbolygó, F., & Csépe, V. (2012). ERPs reflect delayed motor activation in trait impulsivity. 16th World Congress of the International Organization of Psychophysiology, Pisa (poszter). *International Journal of Psychophysiology*, 85(3), 428.

Kóbor A., Takács Á., Honbolygó F., Csépe V. (2012). A kognitív kontrollra ható erőfeszítési és motivációs tényezők impulzivitásban. *A Magyar Pszichológiai Társaság XXI. Országos Tudományos Nagygyűlésén elhangzott szimpózium előadás*, Szombathely.

Takács, Á., **Kóbor, A.**, Honbolygó, F., & Csépe, V. (2012). Interference control on different levels of required effort and motivation in impulsivity. *1st Conference of the European Society for Cognitive and Affective Neuroscience*, Marseille (poszter).

6.3. További publikációk (cikkek)

Takács, Á., **Kóbor, A.**, Tárnok, Zs., & Csépe, V. (2014). Verbal fluency in children with ADHD: Strategy using and temporal properties. *Child Neuropsychology*, 20(4), 415-429.

Font O., **Kóbor A.**, Takács Á. (2013). A nem verbális fluencia fejlődési mintázata 3. és 5. osztály között. *Gyógypedagógiai Szemle*, 41(4), 275-288.

Kóbor, A., Takács, Á., & Urbán, R. (2013). The bifactor model of the Strengths and Difficulties Questionnaire. *European Journal of Psychological Assessment, 29*(4), 229-307.

Takács Á., **Kóbor A.**, Csépe V. (2010). Zavarok a diagnózisban? A figyelmi atipikusság „intuitív diagnosztikája” és neuropszichológiai profilja. *Pszichológia, 30*(3), 253-271.

Irodalomjegyzék

- Aichert, D. S., Wostmann, N. M., Costa, A., Macare, C., Wenig, J. R., Moller, H. J., . . . Ettinger, U. (2012). Associations between trait impulsivity and prepotent response inhibition. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 34*(10), 1016-1032.
- Arce, E., & Santisteban, C. (2006). Impulsivity: A review. *Psicothema, 18*(2), 213-220.
- American Psychiatric Association (2000). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fourth edition, text revision (DSM-IV-TR)*. Arlington, VA: American Psychiatric Association.
- Bari, A., & Robbins, T. W. (2013). Inhibition and impulsivity: Behavioral and neural basis of response control. *Progress in Neurobiology, 108*, 44-79.
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin, 121*(1), 65-94.
- Barkley, R. A., & Fischer, M. (2011). Predicting impairment in major life activities and occupational functioning in hyperactive children as adults: Self-reported executive function (ef) deficits versus ef tests. *Developmental Neuropsychology, 36*(2), 137-161.
- Benikos, N., & Johnstone, S. J. (2009). Arousal-state modulation in children with AD/HD. *Clinical Neurophysiology, 120*(1), 30-40.
- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review, 108*(3), 624-652.
- Boy, F., Evans, C. J., Edden, R. A., Lawrence, A. D., Singh, K. D., Husain, M., & Sumner, P. (2011). Dorsolateral prefrontal γ -aminobutyric acid in men predicts individual differences in rash impulsivity. *Biological Psychiatry, 70*(9), 866-872.
- Brand, M., Labudda, K., & Markowitsch, H. J. (2006). Neuropsychological correlates of decision-making in ambiguous and risky situations. *Neural Networks, 19*(8), 1266-1276.
- Bryce, D., Szűcs, D., Soltész, F., & Whitebread, D. (2011). The development of inhibitory control: An averaged and single-trial Lateralized Readiness Potential study. *Neuroimage, 57*(3), 671-685.
- Brydges, C. R., Clunies-Ross, K., Clohessy, M., Lo, Z. L., Nguyen, A., Rousset, C., . . . Fox, A. M. (2012). Dissociable components of cognitive control: An event-related potential (ERP) study of response inhibition and interference suppression. *PloS One, 7*(3), e34482.
- Bunge, S. A., Dudukovic, N. M., Thomason, M. E., Vaidya, C. J., & Gabrieli, J. D. E. (2002). Immature frontal lobe contributions to cognitive control in children: Evidence from fMRI. *Neuron, 33*(2), 301-311.
- Cao, J., Wang, S., Ren, Y., Zhang, Y., Cai, J., Tu, W., . . . Xia, Y. (2013). Interference control in 6-11 year-old children with and without ADHD: Behavioral and ERP study. *International Journal of Developmental Neuroscience, 31*(5), 342-349.
- Coghill, D. R., Hayward, D., Rhodes, S. M., Grimmer, C., & Matthews, K. (2013). A longitudinal examination of neuropsychological and clinical functioning in boys with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD): Improvements in executive functioning do not explain clinical improvement. *Psychological Medicine, 1*-13.
- Coles, M. G. H. (1989). Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology, 26*(3), 251-269.
- Danielmeier, C., & Ullsperger, M. (2011). Post-error adjustments. *Frontiers in Psychology, 2*. Dimoska, A., & Johnstone, S. J. (2007). Neural mechanisms underlying trait impulsivity in non-clinical adults: Stop-signal performance and event-related potentials. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 31*(2), 443-454.
- Dimoska, A., & Johnstone, S. J. (2007). Neural mechanisms underlying trait impulsivity in non-clinical adults: Stop-signal performance and event-related potentials. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 31*(2), 443-454.
- Douglas, V. I. (1999). Cognitive control processes in attention-deficit/hyperactivity disorder. In H. C. Quay & A. E. Hogan (Eds.), *Handbook of disruptive behavior disorders* (pp. 105-138). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders: Imaging in clinical neuroscience. *British Medical Bulletin, 65*(1), 49-59.
- Endrass, T., Klawohn, J., Gruetzmann, R., Ischebeck, M., & Kathmann, N. (2012). Response-related negativities following correct and incorrect responses: Evidence from a temporospatial principal component analysis. *Psychophysiology, 49*(6), 733-743.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics, 16*(1), 143-149.
- Euser, A. S., Greaves-Lord, K., Crowley, M. J., Evans, B. E., Huizink, A. C., & Franken, I. H. A. (2013). Blunted feedback processing during risky decision making in adolescents with a parental history of substance use disorders. *Development and Psychopathology, 25*(4pt1), 1119-1136.

- Eysenck, H. J. (1993). The nature of impulsivity. In W. McCown, M. Shure & J. Johnson (Eds.), *The impulsive client: Theory, research and treatment* (pp. 57-70). Washington, DC: American Psychological Association.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., Hoormann, J., & Blanke, L. (1991). Effects of crossmodal divided attention on late ERP components: II. Error processing in choice reaction tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78(6), 447-455.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., Christ, S., & Hohnsbein, J. (2000). ERP components on reaction errors and their functional significance: A tutorial. *Biological Psychology*, 51(2-3), 87-107.
- Fecteau, S., Pascual-Leone, A., Zald, D. H., Liguori, P., Théoret, H., Boggio, P. S., & Fregni, F. (2007). Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making. *The Journal of Neuroscience*, 27(23), 6212-6218.
- Fein, G., & Chang, M. (2008). Smaller feedback ERN amplitudes during the BART are associated with a greater family history density of alcohol problems in treatment-naïve alcoholics. *Drug and Alcohol Dependence*, 92(1-3), 141-148.
- Filoteo, J. V., Lauritzen, S., & Maddox, W. T. (2010). Removing the frontal lobes: The effects of engaging executive functions on perceptual category learning. *Psychological Science*, 21(3), 415-423.
- Folstein, J. R., & van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101-135.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, 4(6), 385-390.
- Gehring, W. J., Gratton, G., Coles, M. G., & Donchin, E. (1992). Probability effects on stimulus evaluation and response processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(1), 198-216.
- Hajcak, G., Moser, J. S., Yeung, N., & Simons, R. F. (2005). On the ERN and the significance of errors. *Psychophysiology*, 42(2), 151-160.
- Hall, J. R., Bernat, E. M., & Patrick, C. J. (2007). Externalizing psychopathology and the error-related negativity. *Psychological Science*, 18(4), 326-333.
- Helfinstein, S. M., Schonberg, T., Congdon, E., Karlsgodt, K. H., Mumford, J. A., Sabb, F. W., . . . Poldrack, R. A. (2014). Predicting risky choices from brain activity patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Holroyd, C. B., & Coles, M. G. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109(4), 679-709.
- Hugdahl, K., Westerhausen, R., Alho, K., Medvedev, S., Laine, M., & Hamalainen, H. (2009). Attention and cognitive control: Unfolding the dichotic listening story. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50(1), 11-22.
- Johnstone, S. J., Barry, R. J., & Clarke, A. R. (2013). Ten years on: A follow-up review of ERP research in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Clinical Neurophysiology*, 124(4), 644-657.
- Johnstone, S. J., Barry, R. J., Markovska, V., Dimoska, A., & Clarke, A. R. (2009). Response inhibition and interference control in children with AD/HD: A visual ERP investigation. *International Journal of Psychophysiology*, 72(2), 145-153.
- Johnstone, S. J., Watt, A. J., & Dimoska, A. (2010). Varying required effort during interference control in children with AD/HD: Task performance and ERPs. *International Journal of Psychophysiology*, 76(3), 174-185.
- Kam, J. W. Y., Dominelli, R., & Carlson, S. R. (2012). Differential relationships between sub-traits of BIS-11 impulsivity and executive processes: An ERP study. *International Journal of Psychophysiology*, 85(2), 174-187.
- Karalunas, S., & Huang-Pollock, C. (2013). Integrating impairments in reaction time and executive function using a diffusion model framework. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 41(5), 837-850.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, 38(3), 557-577.
- Kopp, B., Rist, F., & Mattler, U. W. E. (1996). N200 in the flanker task as a neurobehavioral tool for investigating executive control. *Psychophysiology*, 33(3), 282-294.
- Lacouture, Y., & Cousineau, D. (2008). How to use matlab to fit the ex-Gaussian and other probability functions to a distribution of response times. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4(1), 35-45.
- Lansbergen, M. M., Kenemans, J. L., & van Engeland, H. (2007). Stroop interference and attention-deficit/hyperactivity disorder: A review and meta-analysis. *Neuropsychology*, 21(2), 251-262.
- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., . . . Brown, R. A. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75-84.
- Leth-Steensen, C., Elbaz, Z. K., & Douglas, V. I. (2000). Mean response times, variability, and skew in the responding of ADHD children: A response time distributional approach. *Acta Psychologica*, 104(2), 167-190.
- Luman, M., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. A. (2005). The impact of reinforcement contingencies on AD/HD: A review and theoretical appraisal. *Clinical Psychology Review*, 25(2), 183-213.
- Martin-Rhee, M. M., & Bialystok, E. (2008). The development of two types of inhibitory control in monolingual and bilingual children. *Bilingualism: Language and Cognition*, 11(01), 81-93.
- Martin, L. E., & Potts, G. F. (2009). Impulsivity in decision-making: An event-related potential investigation. *Personality and Individual Differences*, 46(3), 303.
- McGrath, L. M., Pennington, B. F., Shanahan, M. A., Santerre-Lemmon, L. E., Barnard, H. D., Willcutt, E. G., . . . Olson, R. K. (2011). A multiple deficit model of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder: Searching for shared cognitive deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(5), 547-557.

- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202.
- Miltner, W. H. R., Braun, C. H., & Coles, M. G. H. (1997). Event-related brain potentials following incorrect feedback in a time-estimation task: Evidence for a "generic" neural system for error detection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(6), 788-798.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8-14.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Mushtaq, F., Bland, A. R., & Schaefer, A. (2011). Uncertainty and cognitive control. *Frontiers in Psychology*, 2.
- Nemeth, D., Janacek, K., Polner, B., & Kovacs, Z. A. (2013). Boosting human learning by hypnosis. *Cerebral Cortex*, 23(4), 801-805.
- Nieuwenhuis, S., Ridderinkhof, K. R., Blom, J., Band, G. P., & Kok, A. (2001). Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task. *Psychophysiology*, 38(5), 752-760.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220-246.
- Nigg, J. T. (2001). Is ADHD a disinhibitory disorder? *Psychological Bulletin*, 127(5), 571-598.
- Nigg, J. T., Willcutt, E. G., Doyle, A. E., & Sonuga-Barke, E. J. (2005). Causal heterogeneity in attention-deficit/hyperactivity disorder: Do we need neuropsychologically impaired subtypes? *Biological Psychiatry*, 57(11), 1224-1230.
- Olivet, D. M., & Hajcak, G. (2008). The error-related negativity (ERN) and psychopathology: Toward an endophenotype. *Clinical Psychology Review*, 28(8), 1343-1354.
- Onoda, K., Abe, S., & Yamaguchi, S. (2010). Feedback-related negativity is correlated with unplanned impulsivity. *Neuroreport*, 21(10), 736-739.
- Pailing, P. E., Segalowitz, S. J., Dywan, J., & Davies, P. L. (2002). Error negativity and response control. *Psychophysiology*, 39(2), 198-206.
- Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). Factor structure of the Barratt Impulsiveness Scale. *Journal of Clinical Psychology*, 51(6), 768-774.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Potts, G. F., George, M. R., Martin, L. E., & Barratt, E. S. (2006). Reduced punishment sensitivity in neural systems of behavior monitoring in impulsive individuals. *Neuroscience Letters*, 397(1-2), 130-134.
- Ramtekkar, U. P., Reiersen, A. M., Todorov, A. A., & Todd, R. D. (2010). Sex and age differences in Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder symptoms and diagnoses: Implications for DSM-V and ICD-11. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 49(3), 217-228.e213.
- Ridderinkhof, K. R., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, 306(5695), 443-447.
- Ridderinkhof, K. R., & van der Molen, M. W. (1995). A psychophysiological analysis of developmental differences in the ability to resist interference. *Child Development*, 66(4), 1040-1056.
- Ruchsow, M., Spitzer, M., Gron, G., Grothe, J., & Kiefer, M. (2005). Error processing and impulsiveness in normals: Evidence from event-related potentials. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 24(2), 317-325.
- Russo, P. M., De Pascalis, V., Varriale, V., & Barratt, E. S. (2008). Impulsivity, intelligence and P300 wave: An empirical study. *International Journal of Psychophysiology*, 69(2), 112-118.
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53(1), 61-97.
- Schiebener, J., Wegmann, E., Pawlikowski, M., & Brand, M. (2012). Anchor effects in decision making can be reduced by the interaction between goal monitoring and the level of the decision maker's executive functions. *Cognitive Processing*, 13(4), 321-332.
- Sergeant, J. A. (2005). Modeling attention-deficit/hyperactivity disorder: A critical appraisal of the cognitive-energetic model. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1248-1255.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., Huijbregts, S., Scheres, A., & Oosterlaan, J. (2003). The top and the bottom of ADHD: A neuropsychological perspective. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27(7), 583-592.
- Sharma, L., Markon, K. E., & Clark, L. A. (2014). Toward a theory of distinct types of "impulsive" behaviors: A meta-analysis of self-report and behavioral measures. *Psychological Bulletin*, 140(2), 374-408.
- Shiels, K., & Hawk, L. W., Jr. (2010). Self-regulation in ADHD: The role of error processing. *Clinical Psychology Review*, 30(8), 951-961.
- Simons, R. F. (2010). The way of our errors: Theme and variations. *Psychophysiology*, 47(1), 1-14.
- Sjöwall, D., Roth, L., Lindqvist, S., & Thorell, L. B. (2013). Multiple deficits in ADHD: Executive dysfunction, delay aversion, reaction time variability, and emotional deficits. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 54(6), 619-627.
- Smulders, F. T. Y., & Meijer, E. H. (2008). Extraversion and performance: A cognitive-energetical approach. *Personality and Individual Differences*, 44(2), 475-486.
- Stanford, M. S., Mathias, C. W., Dougherty, D. M., Lake, S. L., Anderson, N. E., & Patton, J. H. (2009). Fifty years of the Barratt Impulsiveness Scale: An update and review. *Personality and Individual Differences*, 47(5), 385-395.
- Steger, J., Imhof, K., Steinhausen, H.-C., & Brandeis, D. (2000). Brain mapping of bilateral interactions in attention deficit hyperactivity disorder and control boys. *Clinical Neurophysiology*, 111(7), 1141-1156.

- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.
- Szűcs, D., Soltész, F., Bryce, D., & Whitebread, D. (2009). Real-time tracking of motor response activation and response competition in a Stroop task in young children: A lateralized readiness potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(11), 2195-2206.
- Szűcs, D., Soltész, F., Jármi, E., & Csépe, V. (2007). The speed of magnitude processing and executive functions in controlled and automatic number comparison in children: An electro-encephalography study. *Behavioral and Brain Functions*, 3, 23.
- Takács, Á., Kóbor, A., Tárnok, Z., & Csépe, V. (2014). Verbal fluency in children with ADHD: Strategy using and temporal properties. *Child Neuropsychology*, 20(4), 415-429.
- Talmi, D., Atkinson, R., & El-Deredy, W. (2013). The feedback-related negativity signals salience prediction errors, not reward prediction errors. *Journal of Neuroscience*, 33(19), 8264-8269.
- Ullsperger, M., Fischer, A. G., Nigbur, R., & Endrass, T. (2014). Neural mechanisms and temporal dynamics of performance monitoring. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(5), 259-267.
- Valo, S., & Tannock, R. (2010). Diagnostic instability of DSM-IV ADHD subtypes: Effects of informant source, instrumentation, and methods for combining symptom reports. *Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology*, 39(6), 749-760.
- van Mourik, R., Oosterlaan, J., & Sergeant, J. A. (2005). The Stroop revisited: A meta-analysis of interference control in AD/HD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 46(2), 150-165.
- van Mourik, R., Sergeant, J. A., Heslenfeld, D., Konig, C., & Oosterlaan, J. (2011). Auditory conflict processing in ADHD. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52(3), 265-274.
- Walsh, M. M., & Anderson, J. R. (2012). Learning from experience: Event-related potential correlates of reward processing, neural adaptation, and behavioral choice. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(8), 1870-1884.
- Willcutt, E. G., Betjemann, R. S., McGrath, L. M., Chhabildas, N. A., Olson, R. K., DeFries, J. C., & Pennington, B. F. (2010). Etiology and neuropsychology of comorbidity between RD and ADHD: The case for multiple-deficit models. *Cortex*, 46(10), 1345-1361.
- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: A meta-analytic review. *Biological Psychiatry*, 57(11), 1336-1346.
- Wu, K. K., Chan, S. K., Leung, P. W., Liu, W. S., Leung, F. L., & Ng, R. (2011). Components and developmental differences of executive functioning for school-aged children. *Developmental Neuropsychology*, 36(3), 319-337.
- Yeung, N., Holroyd, C. B., & Cohen, J. D. (2005). ERP correlates of feedback and reward processing in the presence and absence of response choice. *Cerebral Cortex*, 15(5), 535-544.
- Zelazo, P. D., Qu, L., & Kesek, A. C. (2010). Hot executive function: Emotion and the development of cognitive control. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development at the intersection of emotion and cognition* (pp. 97-111). Washington, DC, US: American Psychological Association.